

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. April 2002 (18.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/30574 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B03C 3/68

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03845

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. Oktober 2001 (08.10.2001)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AU, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 50 188.5 9. Oktober 2000 (09.10.2000) DE

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

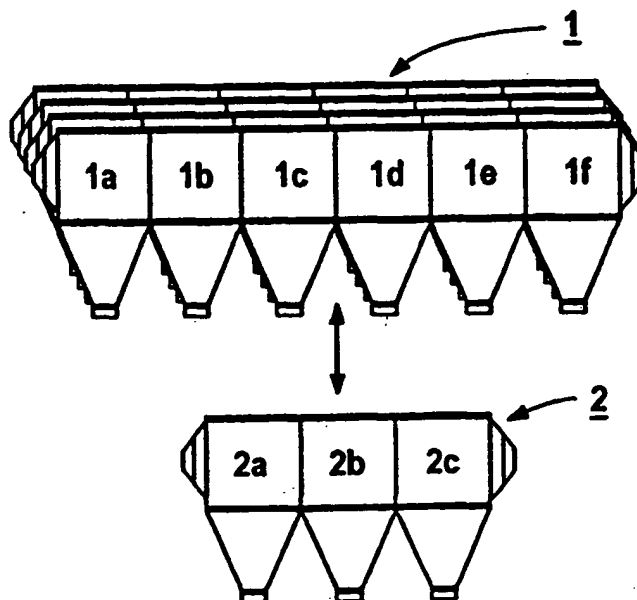
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRASS, Norbert [DE/DE]; Bergstrasse 37 b, 91074 Herzogenaurach (DE).

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN ELECTROSTATIC FILTER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES ELEKTROFILTERS



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an electrostatic filter, whereby the real electrostatic filter (1) is transformed to a filter model (2) that comprises at least one inlet zone (2a), at least one center zone (2b) and at least one outlet zone (2c) and whereby a predetermined characteristic is associated with every of the three model zones (2a - 2c). The energy supply for a predetermined number of said model zones (2a - 2c) is controlled in accordance with said characteristic and depending on the desired value of particle emission (E).

(57) Zusammenfassung: Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektrofilter (1) auf ein Filtermodell (2) transformiert, das wenigstens eine Eingangszone (2a), wenigstens eine Mittelzone (2b) und wenigstens eine Ausgangszone (2c) umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen (2a - 2c) eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen (2a - 2c) in Abhängigkeit vom

WO 02/30574 A1

Sollwert der Partikelemission (E) geregelt.

## Beschreibung

## Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters.

Elektrofilter finden in den vielfältigsten technischen Prozessen zur Entstaubung von Gasen Verwendung. Hierbei wird ein  
10 Paket von Abscheideelektroden im Gasstrom angeordnet. Zwischen diesen Abscheideelektroden werden vorzugsweise drahtförmige Sprühelektroden eingefügt, wobei zwischen den elektrisch jeweils parallel geschalteten Sprühelektroden einerseits und den Abscheideelektroden andererseits eine hohe  
15 Gleichspannung in der Größenordnung von etwa 50 KV angelegt wird. Hierdurch werden die Gasmoleküle ionisiert und geben sodann ihre Ladung an die im Gasstrom enthaltenen Staubpartikel ab, welche negativ aufgeladen werden und dadurch zu dem positiv geladenen Teil der Elektroden gezogen werden. Dort  
20 können sie durch Vibration oder durch Abstreifeinrichtungen gelöst werden und fallen sodann nach unten in eine Staubsammelvorrichtung.

Mit diesem Prinzip lassen sich die unterschiedlichsten Partikel aus den verschiedensten Gasströmen abscheiden, woraus  
25 allerdings je nach Einsatzfall stark schwankende Betriebsparameter für das Elektrofilter resultieren. Durch Feuerung unterschiedlicher Kohlesorten entstehen beispielsweise unterschiedliche Partikelmengen und Abgaseigenschaften in den Elektrofiltern. So wird z. B. zum Erreichen des geforderten Reingasstaubgehalts bei Kohlen mit niederohmigen Aschebestandteilen und hohen Aschegehalten erheblich höhere Energie im Elektrofilter benötigt als bei Kohlen mit geringem Ascheanteil.  
30

35

Bei den bisher bekannten Elektrofiltern ist eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission nur bei vol-

ler Leistung der Hochspannungsversorgung sichergestellt, der zu einem entsprechend hohen Energieverbrauch führt.

Die bisher auch vorgenommene manuelle Einstellung der Geräte  
5 erfordert einen hohen Aufwand an geschultem Bedienpersonal.  
Auch eine an sich mögliche Überdimensionierung des Elektro-  
filters ist wegen der hiermit verbundenen nicht unbeträchtli-  
chen Verteuerung des betreffenden industriellen Verfahrens  
nur begrenzt möglich. Die Feuerung nur bestimmter Kohlesorten  
10 führt dazu, dass Marktentwicklungen nicht voll ausgenutzt  
werden können.

In der DE 42 22 069 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines  
Elektrofilters sowie ein Elektrofilter zur Durchführung des  
15 Verfahrens beschrieben. Im bekannten Fall wird außerhalb der  
aktiven Abscheidezone des Elektrofilters, also entfernt von  
dem diese Abscheidezone bildenden elektrischen Hochspannungs-  
feld, eine Soll-Funkenstrecke betrieben, die ein weiteres e-  
lektrisches Hochspannungsfeld aufbaut. Die Soll-Funkenstrecke  
20 wird in einem Bereich betrieben, der staubfrei ist, aber an-  
sonsten allen wesentlichen Betriebsparametern des Medien-  
stroms unterliegt. Dadurch sollen einerseits Glimmbrände in-  
nerhalb des Elektrofilters vermieden werden, andererseits  
soll dadurch die Betriebsspannung des Elektrofilters immer  
25 möglichst nahe der Überschlagsgrenze gehalten werden.

Weiterhin ist in der DE 41 40 228 A1 ein Verfahren zur Ent-  
staubung von Rauchgasen beschrieben. Bei diesem Verfahren  
wird ein Vergleich einer Soll-Istwertdifferenz mit im Voraus  
30 experimentell ermittelten Prozessparametern durchgeführt. Die  
experimentelle Ermittlung der Prozessparameter erfolgt hier-  
bei in einem hinsichtlich Entstaubungsgrad und Wirkungsgrad  
optimalen Prozess. Durch das bekannte Verfahren soll ein mög-  
lichst effizienter Betrieb der Elektrofilter im ökologischen  
35 wie auch im ökonomischen Sinne erreicht werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters zu schaffen, das auf einfache Weise eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission gewährleistet.

5

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahren sind in den Unteransprüchen angegeben.

- 10 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektrofilter auf ein Filtermodell transformiert, das wenigstens eine Eingangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen eine vorgebbare
- 15 Charakteristik zugeordnet wird. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.
- 20 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Spitzenwerte, wie sie häufig bei der Plattenklopfung auftreten, begrenzt, so dass die sichere Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte gewährleistet ist. Durch die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell, welches wenigstens eine Ein-
- 25 gangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, ist das Verfahren nach Anspruch 1 auf beliebige Anordnungen von Elektrofiltern anwendbar. Jede der drei Modellzonen wird hierbei eine bestimmte Charakteristik zugeordnet. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbaren Anzahl dieser Modellzonen in
- 30 Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.

Durch die Modellbildung erhält man eine Vereinfachung der Algorithmen und eine Verkürzung der Optimierungsdauer für das

35 betreffende Elektrofilter.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- 5  
10  
15
- FIG 1 ein Diagramm der Partikelemission über den dem Elektrofiter zugeführten elektrischen Strom,  
FIG 2 eine graphische Darstellung der Transformation eines realen mehrstufigen Elektrofilters auf ein Filtermodell,  
FIG 3 ein Beispiel für eine Vernetzung von Hochspannungsggeräten eines Elektrofilters,  
FIG 4 eine Regelung der Partikelemission und der Filterströme,  
FIG 5 eine Bedienoberfläche bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

20

FIG 1 zeigt in einem Diagramm den prinzipiellen Verlauf der Staubpartikelemission in Abhängigkeit von der Stromstärke, die einem Elektrofilter zugeführt wird. Durch Änderung im Produktionsprozess können sich die Abgaseigenschaften ändern, so dass sich die im Beispiel gezeigte Kurve quantitativ ändert.

25

In FIG 2 ist mit 1 ein sechsstufiges reales Elektrofilter bezeichnet, das erfindungsgemäß auf ein Filtermodell 2 transformiert wird. Die Transformation ist in FIG 2 durch einen Doppelpfeil symbolisiert. Das Filtermodell 2 umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Eingangszone 2a, eine Mittelzone 2b und eine Ausgangszone 2c.

30

Der Eingangszone 2a, der die Stufen 1a und 1b des realen Filters entsprechen, weist eine hohe, inhomogene Staubkonzentration im Abgas auf. Die Aufladung möglichst vieler Partikel wirkt sich günstig auf die Wirksamkeit der Mittelzone 2b und der Ausgangszone 2c aus.

35

In der Mittelzone 2b, die aus den Stufen 1c und 1d des realen Filters 1 gebildet wird, weist eine deutlich geringere Staub-

konzentration (ca. 1/20) auf. In der mittleren Zone 2b kann in seltenen Fällen ein Rücksprühen auftreten. Unter Rücksprühen versteht man das Ende des linearen Spannungsanstiegs trotz Erhöhung der Stromstärke.

5

In der Ausgangszone 2c, die aus den Stufen 1e und 1f des realen Filters 1 gebildet wird, ist ein hoher Anteil an feinen Staubpartikeln vorhanden. Aufgrund des hochohmigen Staubbefalls an den Platten tritt häufiger ein Rücksprühen auf. Der Emissionswert reagiert sensibel auf Plattenklopfung.

10

Nach Modifikationen im Betrieb, z. B. durch Änderung der Stromzufuhr, in einer Zone müssen alle nachfolgenden Zonen neu adaptiert werden.

15

Für die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell wird zumindest einer der folgenden Parameter berücksichtigt:

Istwert und Sollwert des Filterstromes,

20 Istwerte, Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte der Filterspannung,

elektrische Leistung,

Betriebsart (kontinuierlicher Betrieb oder Pulsbetrieb) und/oder

25 falls Pulsbetrieb aktiv - wenigstens ein Pulsmuster.

Im Gasstrom parallele Modellzonen werden zunächst mit identischen Sollwerten versorgt. Bei der Feinoptimierung werden die Gewichtungsfaktoren für die parallelen Modellzonen bestimmt.

30 Bei seriellen Modellzonen wird eine lineare Interpolation der Parameter, insbesondere der Istwerte, verwendet. Auch hier sind unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Modellzonen denkbar.

35 Die Wahl der Betriebsart bei der Rücktransformation vom Filtermodell 2 in das reale Filter 1 hängt von der errechneten

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. April 2002 (18.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/30574 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B03C 3/68

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03845

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. Oktober 2001 (08.10.2001)

(81) Bestimmungsstaaten (national): AU, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 50 188.5 9. Oktober 2000 (09.10.2000) DE

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

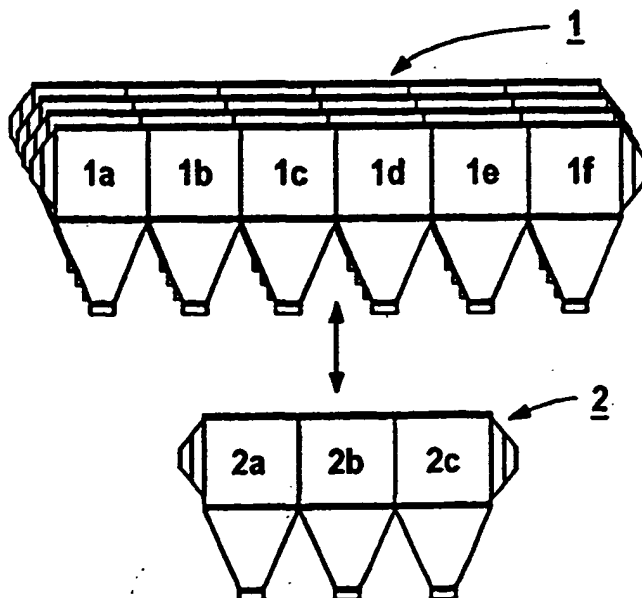
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRASS, Norbert [DE/DE]; Bergstrasse 37 b, 91074 Herzogenaurach (DE).

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN ELECTROSTATIC FILTER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES ELEKTROFILTERS



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an electrostatic filter, whereby the real electrostatic filter (1) is transformed to a filter model (2) that comprises at least one inlet zone (2a), at least one center zone (2b) and at least one outlet zone (2c) and whereby a predetermined characteristic is associated with every of the three model zones (2a - 2c). The energy supply for a predetermined number of said model zones (2a - 2c) is controlled in accordance with said characteristic and depending on the desired value of particle emission (E).

(57) Zusammenfassung: Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektrofilter (1) auf ein Filtermodell (2) transformiert, das wenigstens eine Eingangszone (2a), wenigstens eine Mittelzone (2b) und wenigstens eine Ausgangszone (2c) umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen (2a - 2c) eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen (2a - 2c) in Abhängigkeit vom

WO 02/30574 A1

Sollwert der Partikelemission (E) geregelt.

## Beschreibung

## Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters.

Elektrofilter finden in den vielfältigsten technischen Prozessen zur Entstaubung von Gasen Verwendung. Hierbei wird ein  
10 Paket von Abscheideelektroden im Gasstrom angeordnet. Zwischen diesen Abscheideelektroden werden vorzugsweise drahtförmige Sprühelektroden eingefügt, wobei zwischen den elektrisch jeweils parallel geschalteten Sprühelektroden einerseits und den Abscheideelektroden andererseits eine hohe  
15 Gleichspannung in der Größenordnung von etwa 50 KV angelegt wird. Hierdurch werden die Gasmoleküle ionisiert und geben sodann ihre Ladung an die im Gasstrom enthaltenen Staubpartikel ab, welche negativ aufgeladen werden und dadurch zu dem positiv geladenen Teil der Elektroden gezogen werden. Dort  
20 können sie durch Vibration oder durch Abstreifeinrichtungen gelöst werden und fallen sodann nach unten in eine Staubsammelvorrichtung.

Mit diesem Prinzip lassen sich die unterschiedlichsten Partikel aus den verschiedensten Gasströmen abscheiden, woraus allerdings je nach Einsatzfall stark schwankende Betriebsparameter für das Elektrofilter resultieren. Durch Feuerung unterschiedlicher Kohlesorten entstehen beispielsweise unterschiedliche Partikelmengen und Abgaseigenschaften in den Elektrofiltern. So wird z. B. zum Erreichen des geforderten Reingasstaubgehalts bei Kohlen mit niederohmigen Aschebestandteilen und hohen Aschegehalten erheblich höhere Energie im Elektrofilter benötigt als bei Kohlen mit geringem Ascheanteil.

35

Bei den bisher bekannten Elektrofiltern ist eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission nur bei vol-



ler Leistung der Hochspannungsversorgung sichergestellt, der zu einem entsprechend hohen Energieverbrauch führt.

Die bisher auch vorgenommene manuelle Einstellung der Geräte  
5 erfordert einen hohen Aufwand an geschultem Bedienpersonal.  
Auch eine an sich mögliche Überdimensionierung des Elektro-  
filters ist wegen der hiermit verbundenen nicht unbeträchtli-  
chen Verteuerung des betreffenden industriellen Verfahrens  
nur begrenzt möglich. Die Feuerung nur bestimmter Kohlesorten  
10 führt dazu, dass Marktentwicklungen nicht voll ausgenutzt  
werden können.

In der DE 42 22 069 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines  
Elektrofilters sowie ein Elektrofilter zur Durchführung des  
15 Verfahrens beschrieben. Im bekannten Fall wird außerhalb der  
aktiven Abscheidezone des Elektrofilters, also entfernt von  
dem diese Abscheidezone bildenden elektrischen Hochspannungs-  
feld, eine Soll-Funkenstrecke betrieben, die ein weiteres e-  
lektrisches Hochspannungsfeld aufbaut. Die Soll-Funkenstrecke  
20 wird in einem Bereich betrieben, der staubfrei ist, aber an-  
sonsten allen wesentlichen Betriebsparametern des Medien-  
stroms unterliegt. Dadurch sollen einerseits Glimmbrände in-  
nerhalb des Elektrofilters vermieden werden, andererseits  
soll dadurch die Betriebsspannung des Elektrofilters immer  
25 möglichst nahe der Überschlagsgrenze gehalten werden.

Weiterhin ist in der DE 41 40 228 A1 ein Verfahren zur Ent-  
staubung von Rauchgasen beschrieben. Bei diesem Verfahren  
wird ein Vergleich einer Soll-Istwertdifferenz mit im Voraus  
30 experimentell ermittelten Prozessparametern durchgeführt. Die  
experimentelle Ermittlung der Prozessparameter erfolgt hier-  
bei in einem hinsichtlich Entstaubungsgrad und Wirkungsgrad  
optimalen Prozess. Durch das bekannte Verfahren soll ein mög-  
lichst effizienter Betrieb der Elektrofilter im ökologischen  
35 wie auch im ökonomischen Sinne erreicht werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters zu schaffen, das auf einfache Weise eine sichere Einhaltung der Grenzwerte für die Partikelemission gewährleistet.

5

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahren sind in den Unteransprüchen angegeben.

- 10 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters wird das reale Elektrofilter auf ein Filtermodell transformiert, das wenigstens eine Eingangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen eine vorgebbare
- 15 Charakteristik zugeordnet wird. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.
- 20 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Spitzenwerte, wie sie häufig bei der Plattenklopfung auftreten, begrenzt, so dass die sichere Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte gewährleistet ist. Durch die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell, welches wenigstens eine Ein-
- 25 gangszone, wenigstens eine Mittelzone und wenigstens eine Ausgangszone umfasst, ist das Verfahren nach Anspruch 1 auf beliebige Anordnungen von Elektrofiltern anwendbar. Jede der drei Modellzonen wird hierbei eine bestimmte Charakteristik zugeordnet. Entsprechend dieser Charakteristik wird die Ener-
- 30 giezufuhr für eine vorgebbaren Anzahl dieser Modellzonen in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission geregelt.

Durch die Modellbildung erhält man eine Vereinfachung der Algorithmen und eine Verkürzung der Optimierungsdauer für das

35 betreffende Elektrofilter.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- FIG 1 ein Diagramm der Partikelemission über den dem Elekt-  
5 rofilter zugeführten elektrischen Strom,  
FIG 2 eine graphische Darstellung der Transformation eines  
realen mehrstufigen Elektrofilters auf ein Filtermo-  
dell,  
FIG 3 ein Beispiel für eine Vernetzung von Hochspannungsge-  
10 räten eines Elektrofilters,  
FIG 4 eine Regelung der Partikelemission und der Filter-  
ströme,  
FIG 5 eine Bedienoberfläche bei einer Ausführungsform des  
erfindungsgemäßen Verfahrens.

15  
FIG 1 zeigt in einem Diagramm den prinzipiellen Verlauf der  
Staubpartikelemission in Abhängigkeit von der Stromstärke,  
die einem Elektrofilter zugeführt wird. Durch Änderung im  
Produktionsprozess können sich die Abgaseigenschaften ändern,  
20 so dass sich die im Beispiel gezeigte Kurve quantitativ än-  
dert.

In FIG 2 ist mit 1 ein sechsstufiges reales Elektrofilter be-  
zeichnet, das erfindungsgemäß auf ein Filtermodell 2 trans-  
25 formiert wird. Die Transformation ist in FIG 2 durch einen  
Doppelpfeil symbolisiert. Das Filtermodell 2 umfasst im dar-  
gestellten Ausführungsbeispiel eine Eingangszone 2a, eine  
Mittelzone 2b und eine Ausgangszone 2c.

30 Der Eingangszone 2a, der die Stufen 1a und 1b des realen Fil-  
ters entsprechen, weist eine hohe, inhomogene Staubkonzentra-  
tion im Abgas auf. Die Aufladung möglichst vieler Partikel  
wirkt sich günstig auf die Wirksamkeit der Mittelzone 2b und  
der Ausgangszone 2c aus.

35 In der Mittelzone 2b, die aus den Stufen 1c und 1d des realen  
Filters 1 gebildet wird, weist eine deutlich geringere Staub-

konzentration (ca. 1/20) auf. In der mittleren Zone 2b kann in seltenen Fällen ein Rücksprühen auftreten. Unter Rücksprühen versteht man das Ende des linearen Spannungsanstiegs trotz Erhöhung der Stromstärke.

5

In der Ausgangszone 2c, die aus den Stufen 1e und 1f des realen Filters 1 gebildet wird, ist ein hoher Anteil an feinen Staubpartikeln vorhanden. Aufgrund des hochohmigen Staubbelags an den Platten tritt häufiger ein Rücksprühen auf. Der Emissionswert reagiert sensibel auf Plattenklopfung.

10

Nach Modifikationen im Betrieb, z. B. durch Änderung der Stromzufuhr, in einer Zone müssen alle nachfolgenden Zonen neu adaptiert werden.

15

Für die Transformation des realen Elektrofilters auf ein Filtermodell wird zumindest einer der folgenden Parameter berücksichtigt:

- Istwert und Sollwert des Filterstromes,
- 20 Istwerte, Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte der Filterspannung,
- elektrische Leistung,
- Betriebsart (kontinuierlicher Betrieb oder Pulsbetrieb)
- und/oder
- 25 falls Pulsbetrieb aktiv - wenigstens ein Pulsmuster.

Im Gasstrom parallele Modellzonen werden zunächst mit identischen Sollwerten versorgt. Bei der Feinoptimierung werden die Gewichtungsfaktoren für die parallelen Modellzonen bestimmt.

- 30 Bei seriellen Modellzonen wird eine lineare Interpolation der Parameter, insbesondere der Istwerte, verwendet. Auch hier sind unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Modellzonen denkbar.

- 35 Die Wahl der Betriebsart bei der Rücktransformation vom Filtermodell 2 in das reale Filter 1 hängt von der errechneten

Stärke des Rücksprühens in den korrespondierenden Modellzonen ab.

Im aktuellen Betriebspunkt des realen Elektrofilters 1 werden  
5 für die drei Modellzonen 2a, 2b und 2c die Gradienten der Emission (oder der Opazität) über der elektrischen Teil-Leistung gebildet. Dazu muss die elektrische Leistung in allen Zonen nacheinander um den aktuellen Betriebspunkt geringfügig variiert werden. Die Gradienten der drei Modellzonen sind ein  
10 Maß für den Einfluss einer Modellzone bei Änderung der elektrischen Leistung auf die Partikelemission. Nun werden die Leistungssollwerte der Modellzonen 2a, 2b und 2c so optimiert, dass alle drei Gradienten gleich groß sind und der gewünschte Emissionswert genau erreicht wird. In diesem Be-  
15 triebspunkt wird das Elektrofiter mit der minimalen möglichen Leistung betrieben, bei der der vorgeschriebene oder gewünschte Emissionswert gerade erreicht wird.

Zur gezielten Suche des optimalen Betriebspunktes hat sich  
20 der Einsatz von Fuzzy-Logik bewährt. Der Einsatz von anderen Methoden, wie z. B. neuronale Netze oder konventionelle Suchalgorithmen, sind hier ebenfalls möglich. Aufgrund der schnellen Realisierbarkeit und der verwendeten abstrakten Regeln sowie der daraus gewonnenen Übertragbarkeit auf andere  
25 reale Elektrofiter ist der Fuzzy-Logik der Vorzug zu geben. Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Fuzzy-Logik ist die einfache Realisierbarkeit unsymmetrischer Regler durch Änderung der Zugehörigkeitsfunktionen eines Signals. Ein Anstieg der Emissionen erfordert eine schnelle starke Reaktion  
30 des Systems wegen der Gefahr von Grenzwertüberschreitungen, wohingegen bei Verringerung der elektrischen Leistung erheblich mehr Zeit zur Verfügung steht. Durch die Verwendung von Fuzzy-Logik wird also die Betriebssicherheit erhöht.

35 Als Istwerte werden außer dem Mittelwert der Partikelemission auch die Spitzenwerte und die Augenblickswerte verwendet. Die Betrachtung der aktuellen Werte ermöglicht eine schnelle Re-

aktion auf ansteigende Werte aufgrund von unvorhersehbaren Prozessänderungen (z. B. Rußblasen). Die Überwachung der Maxima verhindert unerwünschte bzw. unerlaubte Emissionsspitzenwerte auch bei periodischen bzw. wiederkehrenden Vorgängen (z. B. Plattenklopfung).

Bei dem in FIG 3 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Hochspannungsversorgungen des Elektrofilters vernetzt, wobei ein optischer Profibus 5 als Übertragungssystem gewählt wurde. Über den optischen Profibus 5 sind damit die Hochspannungsversorgung 3 sowie die Hochspannungsversorgungen 41, 42, 43, 44 und 45 über ihre Kontrolleinrichtungen 3K sowie 41K, 42K, 43K, 44K und 45K miteinander verbunden. Das Energiemanagement läuft auf einem Personalcomputer 6, der im dargestellten Ausführungsbeispiel unter dem Betriebssystem Windows NT betrieben wird. Im Rahmen der Erfindung ist auch der Einsatz auf einem Automatisierungssystem, z. B. Simatic S7, möglich.

Die einzelnen Hochspannungsversorgungen enthalten einen Satz von Parametern, der bei Verlust der Datenkommunikation aktiviert wird. Hier kann z. B. Betrieb mit Nennstrom hinterlegt werden. Bei Überschreitung der Emissionswerte um einen vorgebbaren Wert, wird bei allen Hochspannungsversorgungen eine Stromerhöhung bewirkt, unabhängig von der laufenden Optimierung. In einer zweiten Stufe kann bei einer weiter ansteigenden Partikelemission bei allen Hochspannungsversorgungen der Nennstrom aktiviert werden.

FIG 4 zeigt die konstant bleibende Partikelemission E sowie die Regelung der Filterströme  $I(Z1)$  bis  $I(Z5)$  in den Zonen Z1 bis Z5 auf kleinere Werte während Abfahren des Kessels. Mit  $U(Z1)$  ist der Spannungsverlauf in der Zone Z1 gekennzeichnet. Die Zeitpunkte der Gradientenbestimmung sind an den kurzen Stromänderungen in beide Richtungen zu erkennen.

In FIG 5 ist die benutzerfreundliche Bedienoberfläche der auf dem Personalcomputer 6 eingesetzten Software zu erkennen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Elektrofilters, bei dem das reale Elektrofiter (1) auf ein Filtermodell (2) transformiert wird, das wenigstens eine Eingangszone (2a), wenigstens eine Mittelzone (2b) und wenigstens eine Ausgangszone (2c) umfasst, wobei jeder der mindestens drei Modellzonen (2a - 2c) eine vorgebbare Charakteristik zugeordnet wird, nach der die Energiezufuhr für eine vorgebbare Anzahl dieser Modellzonen (2a - 2c) in Abhängigkeit vom Sollwert der Partikelemission (E) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für die Transformation des realen Elektrofilters (1) auf ein Filtermodell (2) zumindest einer der folgenden Parameter berücksichtigt wird:
  - Istwerte und Sollwerte der Filterströme,
  - Istwerte, Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte der Filterspannung,
  - elektrische Leistung,
  - Betriebsart (kontinuierlicher Betrieb oder Pulsbetrieb) und - falls der Elektrofiter im Pulsbetrieb betrieben wird - wenigstens ein Pulsmuster.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei im Abgasstrom parallele Zonen zunächst mit identischen Sollwerten versorgt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei durch eine Feinoptimierung für im Abgasstrom parallele Modellzonen Gewichtungsfaktoren bestimmt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei für serielle Zonen eine lineare Interpolation der Parameter, insbesondere der Istwerte, verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für die im Abgasstrom seriellen Modellzonen durch eine Feinoptimierung Gewichtungsfaktoren bestimmt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung einer Fuzzy-Logik ermittelt wird.
- 5 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung eines neuronalen Netzes ermittelt wird.
- 10 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der optimale Betriebspunkt des realen Elektrofilters unter Verwendung konventioneller Suchalgorithmen ermittelt wird.



1/4

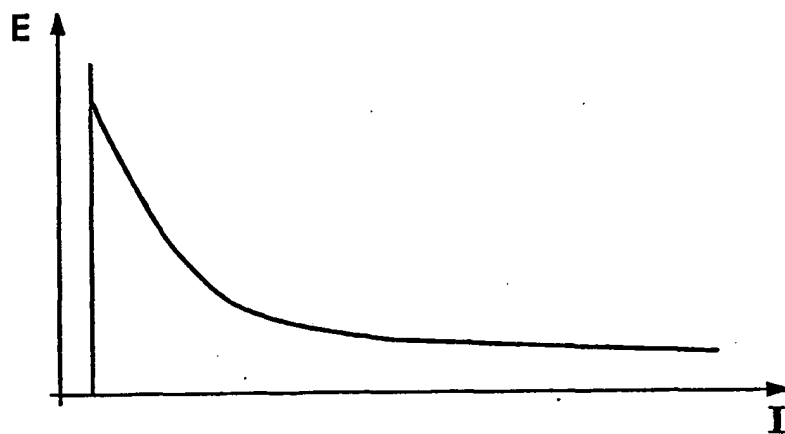


FIG 1

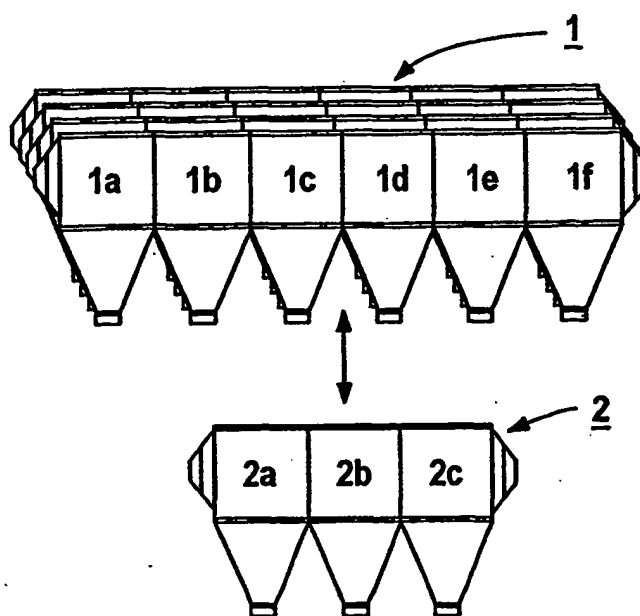


FIG 2

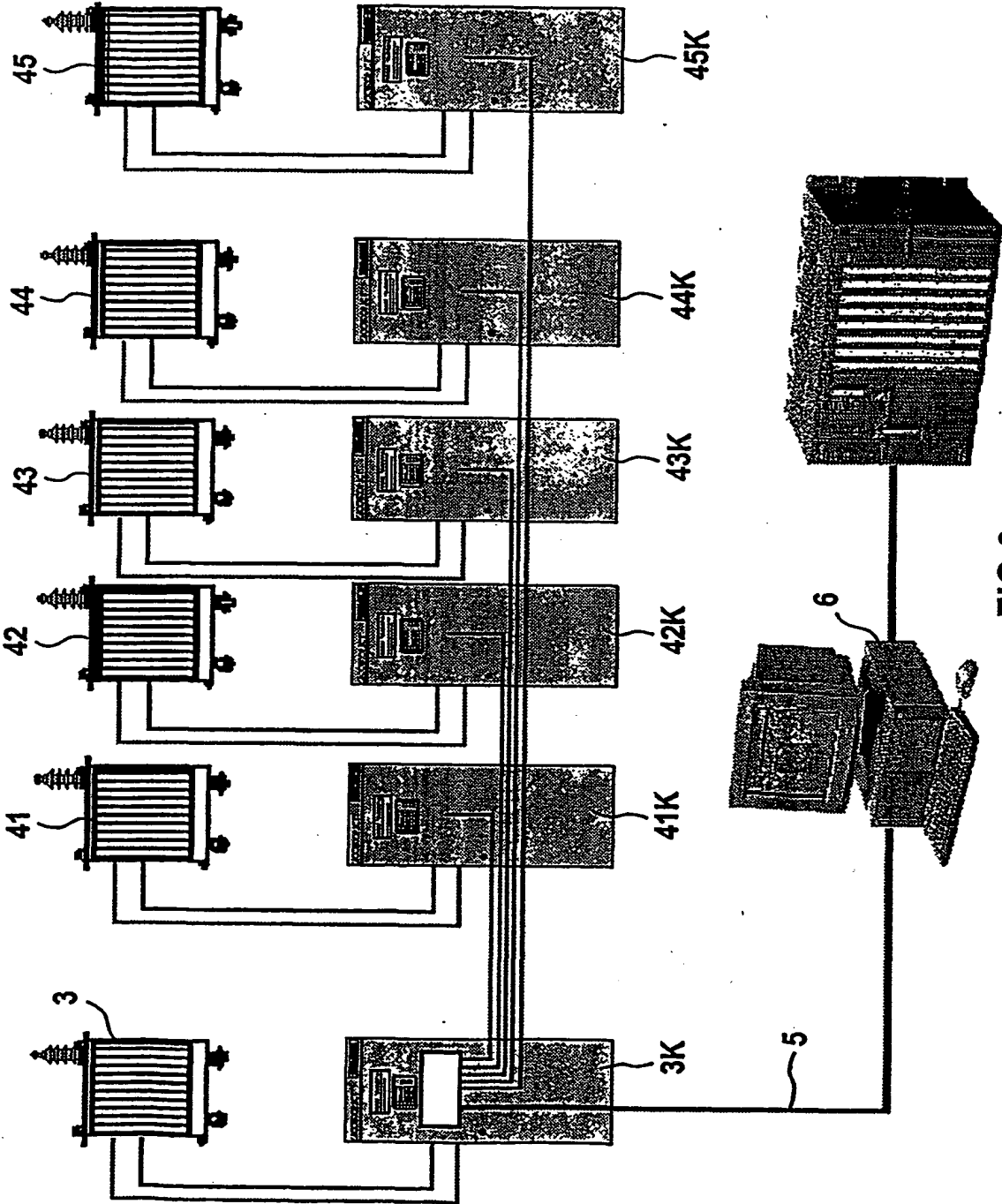


FIG 3

3/4

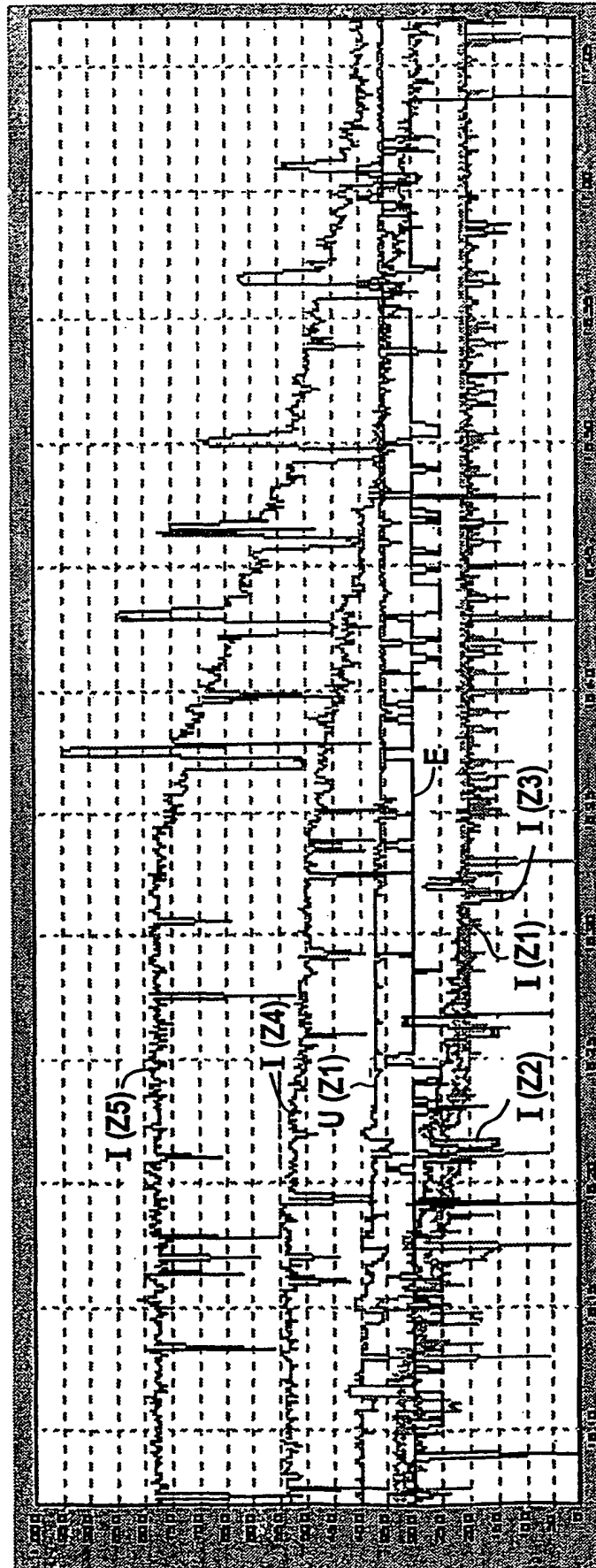


FIG 4

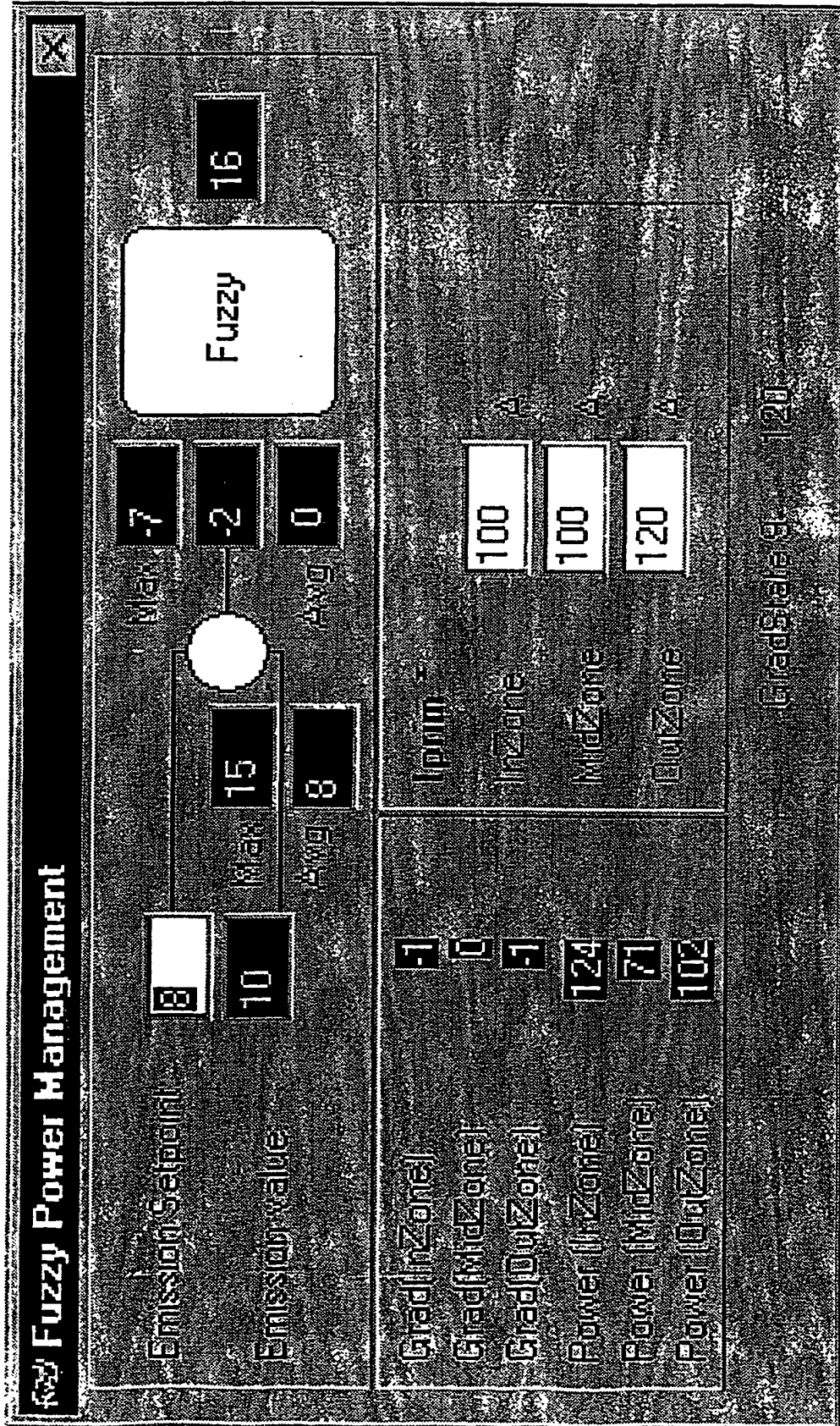


FIG 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/03845

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B03C3/68

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B03C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 432 061 A (HERKLOTZ HELMUT ET AL) 14 February 1984 (1984-02-14) column 4, line 13 - line 46; figures 1,4 column 5, line 1 - line 13	1,2
A	US 4 680 036 A (LEUSSLER WILHELM) 14 July 1987 (1987-07-14) the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents.

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

25 March 2002

Date of mailing of the international search report

04/04/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P. B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gentili, L

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In International Application No

PCT/DE 01/03845

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4432061	A	14-02-1984	DE 3017685 A1	12-11-1981
			AT 8849 T	15-08-1984
			AU 534688 B2	09-02-1984
			AU 7024481 A	12-11-1981
			DE 3165352 D1	13-09-1984
			EP 0039817 A1	18-11-1981
			JP 57004245 A	09-01-1982
			ZA 8103032 A	26-05-1982
US 4680036	A	14-07-1987	DE 3526754 A1	29-01-1987
			AT 46630 T	15-10-1989
			AU 580503 B2	12-01-1989
			AU 6056286 A	29-01-1987
			CA 1271516 A1	10-07-1990
			DE 3665820 D1	02-11-1989
			EP 0210675 A1	04-02-1987
			ES 2000746 A6	16-03-1988
			IN 168831 A1	22-06-1991
			JP 63036856 A	17-02-1988
			KR 9309721 B1	09-10-1993
			ZA 8605571 A	30-03-1988

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B03C3/68

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B03C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 432 061 A (HERKLOTZ HELMUT ET AL) 14. Februar 1984 (1984-02-14) Spalte 4, Zeile 13 - Zeile 46; Abbildungen 1,4 Spalte 5, Zeile 1 - Zeile 13	1,2
A	US 4 680 036 A (LEUSSLER WILHELM) 14. Juli 1987 (1987-07-14) das ganze Dokument	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*g\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. März 2002

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/04/2002

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P. B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gentili, L

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. Klass. Altkennzeichen

PCT/DE 01/03845

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4432061	A	14-02-1984	DE 3017685 A1	12-11-1981
			AT 8849 T	15-08-1984
			AU 534688 B2	09-02-1984
			AU 7024481 A	12-11-1981
			DE 3165352 D1	13-09-1984
			EP 0039817 A1	18-11-1981
			JP 57004245 A	09-01-1982
			ZA 8103032 A	26-05-1982
US 4680036	A	14-07-1987	DE 3526754 A1	29-01-1987
			AT 46630 T	15-10-1989
			AU 580503 B2	12-01-1989
			AU 6056286 A	29-01-1987
			CA 1271516 A1	10-07-1990
			DE 3665820 D1	02-11-1989
			EP 0210675 A1	04-02-1987
			ES 2000746 A6	16-03-1988
			IN 168831 A1	22-06-1991
			JP 63036856 A	17-02-1988
			KR 9309721 B1	09-10-1993
			ZA 8605571 A	30-03-1988